

コンプレッサのベーン挙動測定手法の開発

Development of Measuring Technique for Compressor Vane Behavior Analysis

遠藤 勝美*

Katsumi Endo

川村 誠**

Makoto Kawamura

中澤 圭佑**

Keisuke Nakazawa

要 旨

ロータリコンプレッサは、ベーンとシリンダの衝突により異音を発する場合がある。コンプレッサの商品性向上のための静粛性解析の一環として、このようなベーン作動音の発生要因を調べるためには、ベーンの挙動を時系列で把握する必要がある。このため、稼働状態での一連のベーンの動きを可視化できる手法を開発すると共に、ベーンの動きに影響を与える各部の圧力など、詳細な物理量を測定する方法を検討したので、その内容について紹介する。

Abstract

Rotary compressors may emit noise caused by collision between vanes and the cylinder wall. To minimize the noise, it is crucial to examine the details of the mechanism of such vane-operating noise by tracing the behavior of the vanes in time series. This report describes a developed visualization technique to monitor the motion of the vane under operating conditions. Also a method of measuring pressure affecting the movement of the vanes is explained.

Key Word : Compressor, Vane, Noise, / Car Air Conditioning

1. 目的

これまでベーン作動音に対しては、コンプレッサ回転速度、雰囲気温度、吐出圧力、吸入圧力との関係は明らかだったが、ベーンの挙動を把握するためには十分とは言えなかった。(1)~(4) このベーンの動きは、ベーン先端側圧力（圧縮室内圧力）とベーンの背面側圧力（ベーン背面空間圧力）のバランスで決まる。そこで今回、動きを観察するためにベーンを可視化しながら圧縮室内圧力とベーン背面空間圧力を同時に測定する手法について開発した。

2. ロータリコンプレッサ構造と動作原理

ロータリコンプレッサの構造を Fig. 1 に、圧縮工程を Fig. 2 に示す。シリンダ(Cylinder)とロータ(Rotor)は前後にある2枚のサイドブロック(Front side block, Rear side block)に挟まれ、ロータにある5箇所（Vane slot）にそれぞれベーンが設けられている。ベーン(Vane)はベーン背面空間(Vane rear chamber)圧力によって押し出され、シリンダ内壁との接触を保ちながら回転する。この時、吸込み口より圧縮室内(Compression chamber)に吸い込ま

れた冷媒は、圧縮室の体積変化により圧縮されたのち、リアケース内(Compressor chamber rear space)に吐き出される。冷媒には潤滑オイルが混入されているが、このオイルはオイルセパレータ(Oil separator)によりリアケース内で分離され、冷媒のみがコンプレッサから排出される。一方分離されたオイルはベーン背面空間に給油され、適切な値に昇圧されてベーンを押し出す力となる。

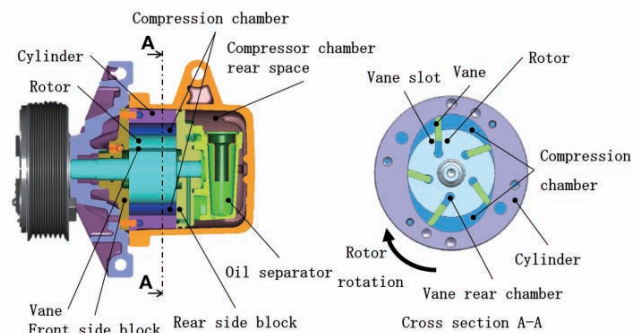


Fig. 1 Compressor structure

* グローバルテクノロジー本部 実験技術グループ
 **コンプレッサ事業本部 コンプレッサ開発グループ

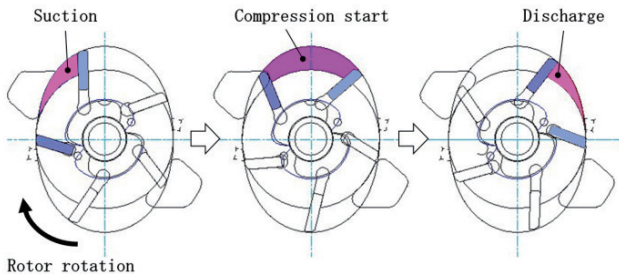


Fig. 2 Compressing process

3. ベーン挙動の把握

コンプレッサのベーン作動音は熱環境により変化するため幅広い温度範囲での測定が必要となり、高温耐久性や部品の熱収縮を考慮しなければならない。また、高圧や高速回転等の過酷な条件にも耐えられる必要があり、可視化の材料やセンサーの選別、及び部品レイアウトを考慮した設置方法等で注意と工夫が求められる。一方、個々の部品が小さく、センサーを設置するためには部品内部へ埋め込む必要があるが、加工した空間で、評価を妨げるような共鳴が発生することは防がなければならない。

このように、ベーンの挙動を把握するにあたっては考慮すべき多くの点があり、それらについて以下説明を行う。

4. ベーンの挙動可視化手法

4.1. 可視化に関して

可視化については以下が必要である。

- (1) 高温高圧に対応できていること
- (2) 稼働時でも視界が確保されていること

これらを考慮して、可視化材質の選定と構造について検討を行った。

4.2. 可視化部品の材質選定

ベーンの動きを可視化するため、リアサイドブロック部の透明化を検討した。材料の選定要件としては、シリンダ内の冷媒状態および回転部品による負荷を考慮し、耐熱性、耐圧性、耐衝撃性、加工性、透明性などを勘案し、候補材の特性比較を行った。その結果、全ての必要要件を満足するのはアクリル樹脂とポリカーボネート樹脂であることが判明した。そのうち、より耐熱性、耐衝撃性の高いポリカーボネート樹脂を採用した (Table 1)。

Table 1 Candidate materials for visualization

Specification	Requirement	Acrylic resin	Poly-carbonate resin	Heat-resistant glass
Transparent rate	85% <	93% ○	88% ○	95% ○
Heat resistance	70°C <	100°C ○	120°C ○	260°C ○
Tensile strength	3MPa <	75MPa ○	65MPa ○	100MPa ○
Bending strength	3MPa <	120MPa ○	90MPa ○	120MPa ○
Impact strength	2N <	20N ○	780N ○	1.5N ×
Workability	Machinable	○	○	×
Overall judgment		○	○	×

○ : Suitable × : Inappropriate

4.3. 可視化用コンプレッサ構造

ベーンの挙動を観察するには、コンプレッサの後部を透明な材料にて製作すればよいが、始動時は冷媒が液化しており、リアケース空間で白濁した冷媒とオイルが視界を遮り、ベーンの動きを可視化することが出来ない (Fig. 3, Fig. 4)。そこで今回、リアサイドブロックやケースリア面などを全て一体化した透明部材で設計することで、コンプレッサ後部の空間を無くす構造とした (Fig. 5, Fig. 6)。尚、オイルセパレータは冷媒とオイルをコンプレッサの外にバイパスさせた上で分離させる別体型を開発して用いている。

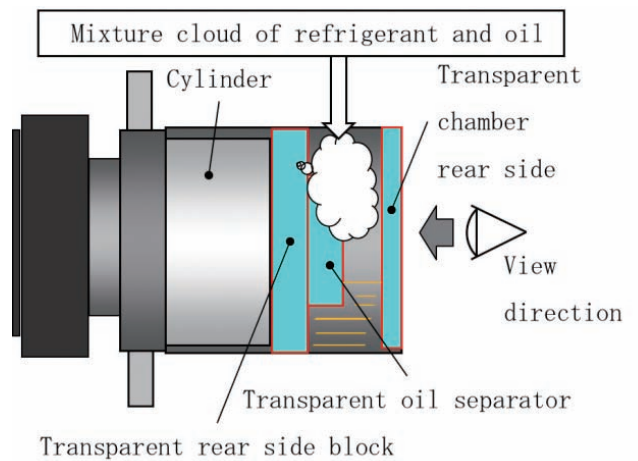


Fig. 3 Conventional structure

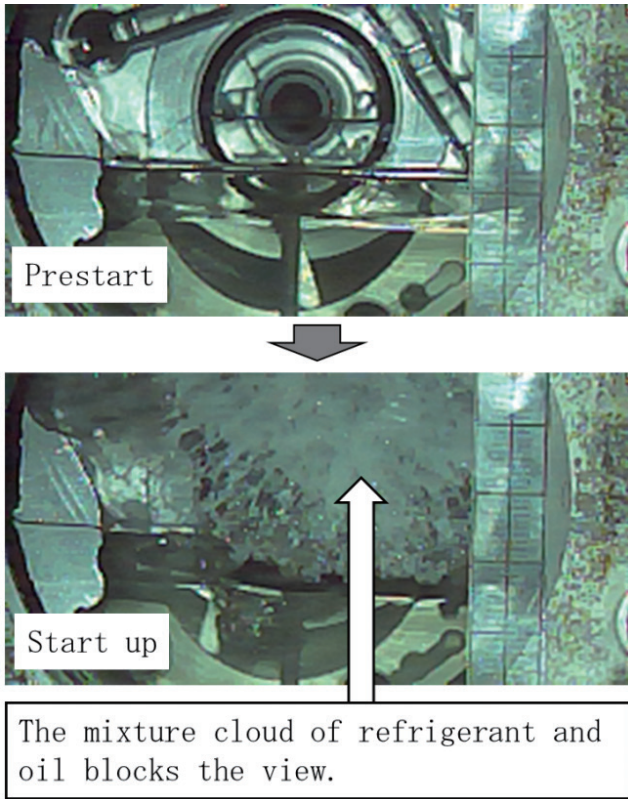


Fig. 4 Visualized inside with the conventional structure

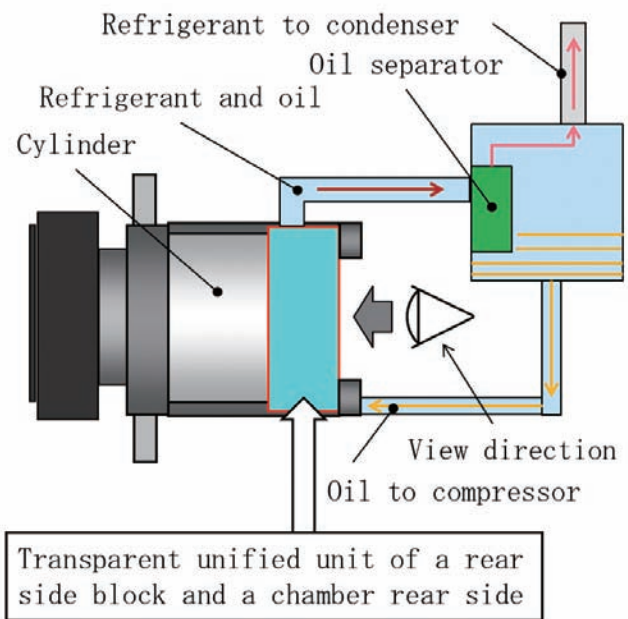


Fig. 5 Modified structure for visualization



Fig. 6 Modified parts for visualization

5. 圧力測定手法

5.1. 圧力測定に関して

圧力測定に際しては、下記を考慮する必要がある。

- (1) 低温から高温に対応できていること
- (2) 高圧に対応できていること
- (3) 高速回転による遠心力に対応できていること
- (4) センサーは部品内部へ埋め込み可能であること
- (5) 部品の重量バランスに影響しないこと
- (6) 熱収縮に対応できていること
- (7) 評価を妨げるような共鳴の発生がないこと

これらに基づいて、圧力センサーの選定、設置構造、固定方法について検討を行った。

5.2. 圧力センサーの選定

圧縮室内圧力とベーン背面空間圧力を測定するためには、ロータの外周部と、ロータのベーン溝に圧力センサーを設置する必要がある。そこで、これらの場所に設置できる圧力センサーを選定した。本体寸法、リード線寸法、重量、圧力測定範囲、耐熱性を考慮した特性比較を Table 2 に示す。この内、高温高圧にも耐えられるセンサー A を用いた。

Table 2 Pressure sensor comparison

Specification	Requirement	Sensor-A	Sensor-B	Sensor-C
Sensor size	$\phi 6 >$ $10\text{mm} >$	$\phi 6$ 8mm ○	$\phi 10$ 14.9mm ×	$\phi 6$ 8.5mm ○
Wire size	$\phi 1.0 >$ $200\text{mm} <$	$\phi 0.1$ 300mm ○	$\phi 1.5$ 30mm ×	$\phi 1.3$ 50mm ×
Weight	$3\text{g} >$	0.6g ○	3.3g ×	1.1g ○
Max pressure	$3.0\text{MPa} <$	5.0MPa ○	1.7MPa ×	2.0MPa ×
Min~Max temperature	$0\sim 70\text{ }^\circ\text{C}$	$-20\sim 70\text{ }^\circ\text{C}$ ○	$-73\sim 121\text{ }^\circ\text{C}$ ○	$-10\sim 55\text{ }^\circ\text{C}$ ×
Overall judgment		○	×	×

○ : Suitable × : Inappropriate

5.3. 圧力センサーの設置構造

圧縮室内圧力を測定するためにロータの外周部に、ベーン背面空間圧力を測定するためにベーン溝部に、それぞれセンサーを設置した(Fig. 7)。ロータ外周部は、センサー受圧面より十分広いため容易に設置することができるが、ベーン溝部は溝幅がセンサー受圧面より狭く、溝部に直接取り付けることができない。そのため、センサー格納室を別に設け、ベーン溝と連通穴で繋ぐ構造とした (Fig. 8)。この連通穴の共鳴周波数は可聴域 ($< 20\text{ kHz}$) 外に設計し評価に影響がないよう考慮した。共鳴周波数 $f(\text{Hz})$ 及び音速 $c\text{ (m/s)}$ については次式で表される。

$$f = \frac{c}{4L} \quad (1)$$

$$c = \sqrt{\frac{kRT}{M}} \quad (2)$$

L : 連通穴長さ, k : 比熱比, R : 気体定数,
 T : 気体温度, M : 分子量

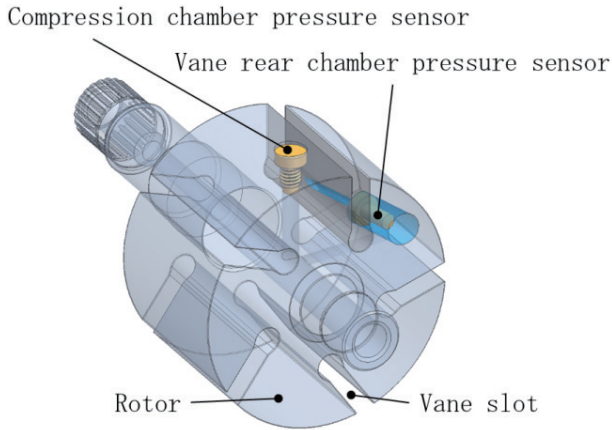


Fig. 7 Pressure sensor installation

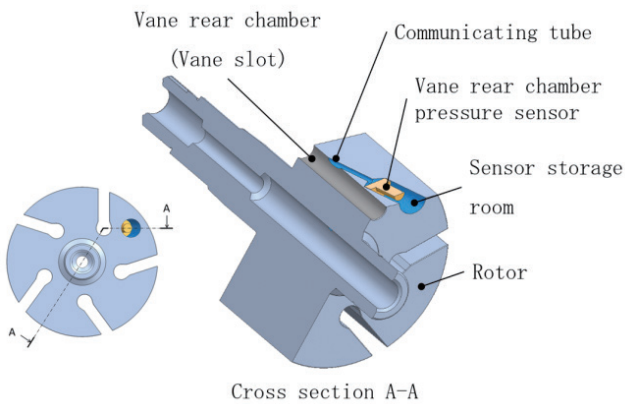


Fig. 8 Cross section of communicating tube

5.4. 圧力センサーの固定

選定した圧力センサーは接着剤を使用してロータに固定される。その際、熱収縮や高い遠心力、振動による衝撃等の厳しい環境の稼働状態でも使用出来る接着剤を使用する必要がある。このため、引張せん断接着強さ、剥離接着強さ、耐熱性、硬さなどを考慮し、アクリル系接着剤Cを選定した (Table 3)。

Table 3 Adhesives comparison

Specification	Requirement	Adhesive-A	Adhesive-B	Adhesive-C
Material	-	Epoxy	Silicone	Acrylics
Shear bond strength	3MPa < @23°C	17.5MPa ○	2.1MPa ×	29.2MPa ○
Peel bond strength	3MPa < @23°C	0.47MPa ×	1.2MPa ×	4.2MPa ○
Heat resistance	70°C <	-55~200°C ○	-40~180°C ○	-40~150°C ○
Hardness (Shore D)	70Hs <	82Hs ○	48Hs ×	84Hs ○
Overall judgment		×	×	○

○ : Suitable × : Inappropriate

6. 確認結果

可視化したベーンの例を Fig. 9 に、測定した圧力の結果を Fig. 10 に示す。今回の測定手法開発により、これまで確認することが困難であった稼働状態でのベーン挙動の可視化と各部圧力を把握することができるようになった。



Rotation speed = 800 rpm

Fig. 9 Visualized inside of the modified structure under operating conditions

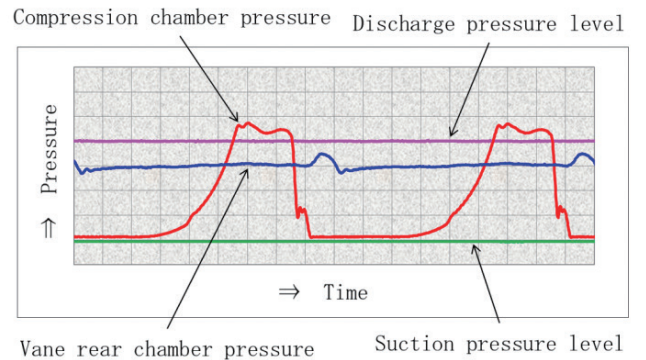


Fig. 10 Pressure measurement result

7. ま と め

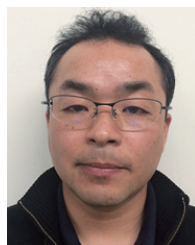
- (1) ベーンの挙動を把握するための可視化手法を開発した。
- (2) ベーンの動きを支配する圧力バランスを把握するため、稼働状態で各部圧力の測定を可能とした。
- (3) ベーンの動きを観察しながら、各部の圧力を把握することができるようになったため、今後は本手法を用いてベーン挙動のメカニズムを解析していく。

参 考 文 献

- (1) 飯島 博史, 福田 充宏: ベーン形コンプレッサの起動特性解析モデル, CKTR, 6, p.88-93(2009)
- (2) 福田 充宏, 柳沢 正, 井尻 誠, 依田 誠一郎: ベーン形圧縮機におけるベーン背圧とその計算モデル, 日本冷凍空調学会論文, 20(3), p.357(2003)
- (3) 福田 充宏: ベーン形圧縮機の起動時におけるベーン挙動 (第1報), 日本機械学会論文B, 59(567), p.3487(1993)
- (4) 福田 充宏: ベーン形圧縮機の起動時におけるベーン挙動 (第2報), 日本機械学会論文B, 60(571), p.879(1994)



遠藤 勝美



川村 誠



中澤 圭佑